Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zur physiologischen Wirkung der Aluminiumsalze auf die Pflanze

von

Ernst Kratzmann,

Assistenten an der k. k. Hochschule für Bodenkultur in Wien.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institut der k. k. Universität in Wien, Nr. 68 der 2. Folge.

(Mit 3 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 7. Mai 1914.)

Nach der Behandlung des mikrochemischen Nachweises und der Verbreitung des Al im Pflanzenreich (Kratzmann, l. c.) soll nunmehr einiges über die physiologischen Wirkungen der Al-Salzlösungen auf die Pflanze berichtet werden, die sich gelegentlich der Nachprüfung verschiedener einschlägiger Literaturangaben beobachten ließen.

I. Zur Frage des Einflusses von Al auf die Farbe anthokyanhältiger Pflanzen und Pflanzenteile.

Vor mehreren Jahren hat Molisch gezeigt, daß man die rote Farbe der Blumenblätter von *Hydrangea hortensis* »Hortensie« in eine blaue umwandeln kann, wenn man in die Blumentöpfe der Pflanzen Alaun in ziemlich großen Mengen einfüllt. Im nächsten Jahre blühen die Hortensien dann blau. Auch auf natürlichen Böden ist dies bisweilen der Fall, was meist auf einen unbekannten Faktor zurückzuführen ist. Auch Eisensulfat wirkte ähnlich wie Alaun, jedoch nicht so sicher.

Vouk verfolgte im Anschluß daran den Einfluß von Aluminiumnitrat in Nährlösungen auf Hortensien und fand,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

daß eine Konzentration von 0·1% $Al(NO_3)_3$ für den Farbenumschlag als optimal bezeichnet werden kann.

Seither wurden noch einige andere[1] Pflanzen mit Al-Salzen zur Änderung der roten Anthokyanfarbe gezwungen. Ich habe als günstiges Versuchsobjekt das Rotkraut benützt. Zieht man junge Pflänzchen auf Knop'scher Nährlösung, die 0·01% $Al(NO_3)_3$ enthält, so bilden sie dunkelblaues Anthokyan, bleiben jedoch im Wachstum hinter den Kontrollpflanzen zurück. Wurden die Pflanzen aber in Erde gezogen, so erhielt ich ein negatives Resultat. Die Erde scheint infolge der großen absorbierenden Oberfläche einen »entgiftenden« Einfluß, wie auf viele andere Stoffe, so auch auf Al zu haben.

Auch mit jungen Pflänzchen der roten Rübe stellte ich diesbezügliche Versuche an, gleichfalls ohne Erfolg; ebenso mit *Achyrantes* sp., deren rothes Anthokyan in den Blättern das Chlorophyll vollständig verdeckt. Die Versuchspflanzen gingen jedoch leider während des Sommers ein, ohne einen Farbenumschlag gezeigt zu haben.

Das negative Ergebnis dieser Versuche darf nicht wundernehmen. Ist doch das »Anthokyan« der Chenopodiaceen (*Beta*) und der Amarantaceen (*Achyrantes*) etwas ganz anderes als das Anthokyan etwa der Rose, oder von *Hydrangea* (vgl. darüber auch Molisch, II., p. 236 ff.).

Bei den bisher erwähnten Versuchen wurde das Al wie jedes Nährsalz aus dem Boden, beziehungsweise der Nährlösung, durch die Wurzeln aufgenommen. Ich machte nun auch den Versuch, einige Zweige von Haselnußsträuchern und Birken mit roten Blättern (var. *purpurea*) in Wasser, das mit Alaun versetzt war, zu halten. Die Blätter änderten ihre Farbe von rot zu grünschwarz (= dunkelblau + grün), gingen aber bald ein. Auf Schnitten durch die Blätter sah man, daß das Anthokyan, welches in den Epidermiszellen enthalten ist, schön dunkelviolett geworden war. Nur die an die Blattrippen

---

[1] Umwandlung der roten Blätter einer *Allium*-Varietät in blaue, der roten Niederblätter von *Hyacynthus*-Zwiebeln in blaue (vgl. darüber Katic l. c.), und Umwandlung von lila Blüten von *Calistephus chinensis*, *Campanula alliariifolia* in blaue, von roten Blüten von *Licoris radiata* in violette (vgl. darüber Miyoshi l. c.).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

grenzenden Blatteile waren rot geblieben, was auch mikroskopisch deutlich sichtbar war, wenn man die Blätter gegen das Licht hielt. Dieser merkwürdige Umstand ist wohl darauf zurückzuführen, daß der Alaun die Blattrippen und die benachbarten Zellen zwar durchströmt, jedoch in zu geringer Konzentration, um eine Wirkung hervorzurufen. In den übrigen Zellen aber wird er stark gespeichert. Die mikrochemische Prüfung ergab, daß *Corylus* und *Betula* unter normalen Umständen wenig, die Blätter der »Alaunzweige« dagegen massenhaft Al enthielten.

Ich möchte jedoch auf diese Versuche kein allzu großes Gewicht legen, da die abgeschnittenen Zweige doch unter zu abnormen Versuchsbedingungen standen und das Al fast direkt auf die Zellen einwirkte, ganz anders als in der intakten Pflanze, wo es durch die Wurzelhaare aufgenommen wird wie die Nährsalze.

II. Der Einfluß des Al auf die Stärkebildung.

Fluri hat beobachtet, daß *Spirogyra*-Fäden, die er in 0·01- bis 0·005prozentigen Lösungen von verschiedenen Al-Salzen hielt, nach einigen Tagen entstärkt werden, sowie daß es nicht mehr möglich ist, sie in der gewöhnlichen Weise zu plasmolysieren. Ihr Plasma ist, wie er vermutet, permeabel geworden und gestattet den zur Plasmolysierung verwendeten Salzlösungen freien Durchtritt. Die gleichen Ergebnisse erhielt er mit *Lemna* und *Elodea*.

Ich habe diese höchst wichtigen Versuche überprüft, hatte jedoch nur mit *Elodea* günstige Erfolge. Die Spirogyren gingen trotz aller Vorsichtsmaßregeln schon nach ein bis zwei Tagen ein, ohne irgendwelche Stärkeabnahme zu zeigen. *Lemna* erwies sich stets reichlich mit Stärke erfüllt. Ebenso ergaben auch meine Versuche mit *Rhizoclonium* sp. ein negatives Resultat. Im Sinne Fluri's fielen nur die Experimente mit *Elodea* aus. Ich verfuhr dabei in der Weise, daß ich neben ganzen Sprossen auch einzelne abgeschnittene Blätter und Blatthälften in die Al-Lösungen gab. Dabei zeigte es sich stets, daß die ganze Blattfläche entstärkt wurde, während die

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zellen an der Schnittlinie reichlich mit Stärkekörnern erfüllt waren, was immer ein sehr merkwürdiges und auffallendes Bild ergab.

In der Erklärung der Entstärkung bin ich anderer Ansicht als Fluri. Er nimmt an, daß das Al eine spezifisch entstärkende Wirkung habe, daneben die Assimilation etwas hemme und vielleicht auch die diastatischen Fermente in ihrer Wirkung verstärke und daß die in lösliche Kohlehydrate umgewandelte Stärke infolge der Permeabilität des Plasmas aus der Zelle hinausdiffundiere. Er beobachtete auch, daß die Sauerstoffabscheidung, mithin auch die Assimilation, von *Elodea* in Al-Salzlösungen auf ein Minimum sinke.

Meiner Ansicht nach wirkt das Al in zwei Richtungen: einerseits hemmt es als Gift (bezüglich der Giftigkeit vgl. Abschnitt IV) die Assimilation, so wie dies z. B. auch ein Chloroformzusatz, ferner Zinksulfat und viele andere Stoffe tun; und zweitens hemmt es, wie dies eine gleich zu erwähnende Variation des bekannten Boehm'schen Versuches beweist, die Tätigkeit der kondensierenden, erhöht aber beträchtlich die der hydrolysierenden Fermente.

Wenn es nun gelänge, das Chlorophyll durch Al-Salze an der Stärkebildung zu verhindern, so würde dies sehr für meine und gegen Fluri's Anschauung sprechen!

Nun hat bekanntlich Boehm gezeigt, daß grüne Blätter im Dunkeln aus Zucker Stärke bilden können, indem er sie z. B. längere Zeit hindurch im Dunkeln auf 20prozentiger Rohrzuckerlösung schwimmen ließ. Ich wiederholte diesen Versuch in der Weise, daß ich einerseits eine Anzahl völlig stärkefreier *Syringa*-Blätter[1] auf 20prozentige Rohrzuckerlösung legte (I), andrerseits ganz dieselbe Versuchsanordnung traf, nur mit dem Unterschied, daß ich zu der Zuckerlösung noch 1% Al $(NO_3)_3$ hinzufügte (II). Ich wählte deshalb eine so hohe Al-Konzentration, weil Fluri nachgewiesen hatte, daß die Wirkung der Al-Salze in niederen Konzentrationen unter andrem auch durch Zuckerzusatz aufgehoben wird.

---

[1] Sie wurden am Morgen vom Strauch genommen, während der folgenden 48 Stunden dunkel gehalten und dann erst zum Versuche verwendet.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nach 14 Tagen wurden die Blätter der Sachs'schen Jodprobe unterworfen, wobei sich ein großer Unterschied ergab: die Blätter aus I. erwiesen sich reichlichst mit Stärke erfüllt, die aus II. waren völlig stärkefrei oder zeigten nur hie und da geringe Spuren von Stärke. Ein Blatt aus II wurde vor der Jodprobe mikroskopisch geprüft, wobei es sich ergab, daß es nicht im geringsten geschädigt war.

Zur Annahme einer spezifisch entstärkenden Wirkung der Al-Salze oder einer Permeabilität liegt demnach wohl kein Grund vor.

Pekelharing versuchte, wie bekannt, auf Grund der Fluri'schen Angaben die entstärkende Wirkung der Al-Salze auf Wurzeln anzuwenden, um sie nach Entfernung der Statolithenstärke auf ihr geotropisches Verhalten zu prüfen. Die Wurzeln erwiesen sich nach der Behandlung nach wie vor positiv geotropisch. Daß daraus keine Schlüsse über die hypothetische Statolithenfunktion der Wurzelstärke gezogen werden können, hat bereits Němec nachgewiesen, indem er zeigte, daß bei Verwendung von Alaun, wie dies Pekelharing tat, keine Entstärkung eintritt. Ich kann dies nur bestätigen. In der Wurzelspitze bleibt stets eine beträchtliche Menge von Stärkekörnern erhalten.

Auch Block hat sich mit der Nachprüfung von Pekelharing's Arbeit befaßt und ist zu denselben Ergebnissen wie Němec und ich gelangt.

III. Zum Einfluß des Aluminiums auf die Plasmolyse.

Das zweite Ergebnis der Fluri'schen Arbeit, das ich nachprüfte, war die Aufhebung der Plasmolysierbarkeit durch Zusatz von Al-Salzen. Bei *Elodea* konnte ich Fluri's Befunde bestätigen. Anders steht es aber, wenn man Wurzeln höherer Pflanzen, die in Leitungswasser + 0·01% eines Al-Salzes gezogen wurden, daraufhin prüft. Es ergibt sich, daß hier bezüglich der Plasmolysierbarkeit kein Unterschied gegenüber den normalen Pflanzen besteht. Bei zirka 4% KNO_3 tritt in Wurzeln und Stamm (untersucht wurde *Cucurbita Pepo*) Plasmolyse ein. Es hat den Anschein, als ob bei Pflanzen,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

die nicht gänzlich von dem Al-hältigen Medium umgeben sind, sondern zum größeren Teil aus dem Wasser ragen, eben dadurch eine gewisse Milderung der schädlichen Wirkung des Al eintrete. Wir haben ja auch bei den Entstärkungsversuchen immer in der Spitzenregion der Wurzeln Stärke gefunden. Die Erscheinung wäre ja auch sehr verständlich, da diese Pflanzen eben nur teilweise, die Wasserpflanzen dagegen allseitig dem Einfluß der Al-Salze ausgesetzt waren.

Fluri erklärt die Aufhebung der Plasmolysierbarkeit in der Weise, daß durch die Al-Salze das Plasma permeabel wird, so daß z. B. die verwendete KNO_3-Lösung freien Durchtritt findet. Ich möchte gegenüber dieser Hypothese jedoch einige Einwände erheben.

Wenn das Plasma vollkommen permeabel wird, so gleicht die Zelle eigentlich einem Sieb, durch dessen Maschen jede Mineralsalzlösung durchtreten kann. In und außer der Zelle müssen sodann die gleichen Stoffe vorhanden sein. Die Zelle hat somit — sit venia verbo — aufgehört, Zelle zu sein.[1] Dabei sehen wir aber, daß die Pflanzen turgeszent bleiben.

Erst vor kurzer Zeit stellte Szücz der Fluri'schen Vorstellung von der Permeabilität des Plasmas eine neue gegenüber. Durch geeignete Versuchsanstellung wies er nach, daß das Plasma wahrscheinlich in einen Erstarrungszustand versetzt werde, in dem es sich von der Wand nicht zurückziehen kann und undurchdringlich für Salzlösungen ist.

Ich muß zur näheren Orientierung ausdrücklich auf die Originalarbeit von Szücz verweisen, hier sei nur einiges wenige hervorgehoben. Als Folgerungen der Fluri'schen Ansicht ergeben sich nach Szücz u. a.:

»1. daß plasmolysierte Zellen selbst noch in der hypertonischen Lösung nach Zusatz von Aluminiumionen eine Rückkehr der Plasmolyse zeigen sollten;

2. die gesteigerte Durchlässigkeit der Plasmahaut würde die Exosmose verschiedener osmotisch wirksamer Inhaltsstoffe bedingen, was sich wieder in einer Turgeszenzsenkung der Zelle bemerbar machen würde;. . . .

[1] Vgl. weiter unten das Zitat aus Szücz!

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. wenn die Permeabilität der Plasmahaut durch die Aluminiumsalzwirkung in einem solchen Maße erhöht worden wäre, daß z. B. eine normale Kaliumnitratlösung selbst keine vorübergehende Plasmolyse hervorrufen könnte,. . so müßte neben anderen schädigenden Einflüssen schon die Exosmose verschiedener Inhaltsstoffe genügen, um eine tötliche Gleichgewichtsänderung zu bewirken.«[1] Oder, wie ich früher sagte: die Zelle hätte aufgehört, eine Zelle zu sein!

Szücz konnte nachweisen, daß alle aus der Fluri'schen Permeabilitätshypothese gezogenen Schlußfolgerungen nicht zutreffen, vielmehr deren Gegenteil. Unter anderem fand er, daß die durch die Al-Ionen hervorgerufene Erstarrung des Plasmas nach einiger Zeit wieder rückgängig gemacht wird, ohne daß das Al entfernt wird! Damit steht die Beobachtung im Zusammenhang, die ich oft an *Elodea* machen konnte: daß die Plasmolysierung zu Beginn der Al-Einwirkung nicht, später aber wieder eintritt. Auch dies ist wohl ein starker Beweis gegen die Richtigkeit der Fluri'schen Anschauung.

Die Deutung von Szücz hat sehr viel für sich; ob sie völlig richtig ist, können wir natürlich nicht mit Sicherheit entscheiden.

Unsere gegenwärtigen Kenntnisse über den Bau des Plasmamoleküls sind wohl noch viel zu dürftig, um das erwähnte Phänomen erklären zu können. Daß aber die Ansicht Fluri's nicht zu Recht besteht, ist kaum mehr zweifelhaft, wenn wir auch vorläufig noch keine bessere Deutung an ihre Stelle setzen können.

IV. Die Giftwirkung der Al-Salze.

Die eingehendste Arbeit über die Gift- und Reizwirkung der Al-Salze ist wohl die von Rothert. Er fand u. a. eine Schädigung der Wurzeln verschiedener Pflanzen bei Wasserkulturen (Leitungswasser). Verlust der Wurzelhaube bei mittleren Konzentrationen der Al-Salze; Hemmung des Wachs-

---

[1] Von mir gesperrt!

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

tums von *Allium cepa* bei 0·005 bis 0·01% $Al_2(SO_4)_3$. Bei 0.1% erfolgt keine Blattentwicklung mehr. Verwendet man Knop'sche Nährlösung an Stelle von Leitungswasser, so machen sich die Schädigungen viel weniger geltend; es zeigt sich eben auch hier die antagonistische Wirkung der verschiedenen Ionen. Auch wenn man an Stelle von Al-Sulfat Kalialaun zusetzt, ist die Schädigung geringer, weil das K entgiftend wirkt.

Die Giftwirkung der Al-Salze äußert sich besonders deutlich bei den Kulturversuchen mit höheren Pflanzen, deren ich zahlreiche ausgeführt habe.

Zieht man z. B. *Zea Mays, Vicia Faba, Lens esculenta* oder *Helianthus annuus* in Leitungswasser, dem 0·005 bis 0·01% eines Al-Salzes zugesetzt sind, so bleiben die Versuchspflanzen gegenüber den Kontrollexemplaren bedeutend an Größe zurück. Eine Ausnahme hiervon bildete *Cucurbita Pepo.* Die Pflanzen wuchsen in Leitungswasser + 0·01% $Al(NO_3)_3$ beinahe kräftiger als die Kontrollexemplare.

Bei sehr geringen Zusätzen (0·0001%) läßt sich, so wie bei vielen anderen giftigen Stoffen, auch beim Al eine schwache Wachstumsbeschleunigung feststellen. Auch Rothert und Yamano haben Ähnliches beobachtet. Letzterer stellte Freilandkulturen mit Gerste und Lein an. Als Al-Salz verwendete er $Al_2(SO_4)_3 NH_4 + 12 H_2O$ und konnte dabei eine bedeutende Förderung der Al-Pflanzen feststellen. Doch scheint mir dieser Versuch wegen der Verwendung eines stickstoffhältigen Al-Doppelsalzes nicht beweisend.

Eine Arbeit von Stoklasa beschäftigt sich gleichfalls mit dem Einfluß von Al-Salzlösungen auf das Wachstum und berücksichtigt gleichzeitig auch die Einwirkung von Mangansalzen. Stoklasa kommt zu folgenden Resultaten: Er findet, daß $^2/_{1000}$ des Atomgewichtes von Al oder Mn auf die untersuchten Pflanzen giftig einwirken, $^1/_{2000}$ jedoch geringe Wachstumsförderung auslösen. Dies deckt sich recht gut mit meinen Erfahrungen. Setzt man Al und Mn zu den Nährlösungen zu ($^1/_{2000}$), so tritt bedeutende Wachstumsförderung ein.[1]

[1] Wenn aber Stoklasa behauptet, daß Mn und Al in den Pflanzen immer zusammen vorkommen, so muß ich dem widersprechen. Wohl gibt es

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wenn Stoklasa ferner dem Al und Mn eine Rolle bei der Photosynthese, Assimilation und Desassimilation zuschreibt, so dürfte dies wohl auch ein etwas zu weitgehender Schluß sein.

Pfeiffer und Blanck kommen zu dem Ergebnis, daß $Al_2(SO_4)_3$ in minimalen Mengen neben Mangansulfat verwendet, eine unbedeutende stimulierende Wirkung äußert. Ihre »Versuche sprechen daher nicht für die von Stoklasa gemachte Beobachtung, wonach die schädliche Wirkung eines Mangansalzes

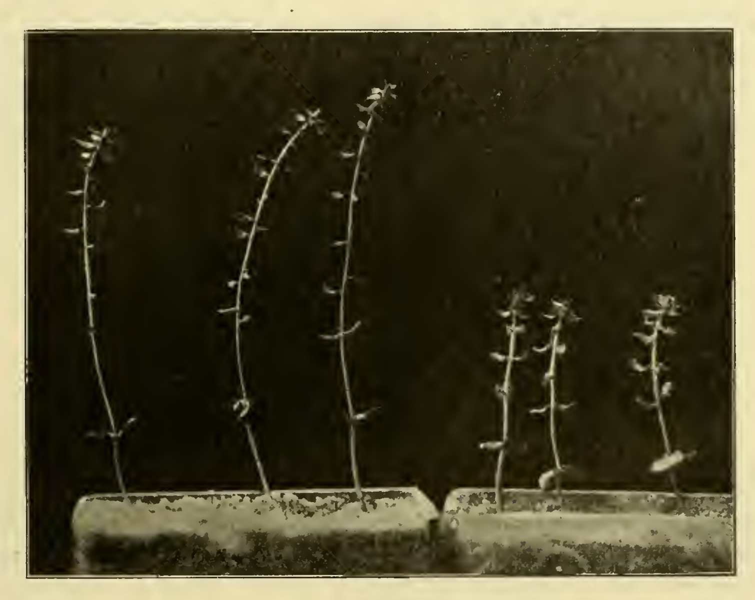


Fig. 1.

Linum usitatissimum, links ohne, rechts mit 10% Al_2O_3.

durch Beigabe eines Aluminiumsalzes aufgehoben oder sogar ins Umgekehrte verwandelt werden soll.«

Merkwürdigerweise hatte auch ein Zusatz von Tonerde (Al_2O_3) eine schädigende Wirkung.

Ich verfuhr in der Weise, daß ich die Versuchspflanzen (*Zea Mays* und *Linum usitatissimum*, die auch unter natürlichen Umständen Al aufnehmen) in Glasgefäßen auf reinstem,

---

sehr viele Pflanzen, die Mn und Al enthalten, aber auch viele, die bloß Mn führen (z. B. *Viscum album* bis 10·67 Mn_3O_4 in der Asche, 0% Al). Vgl. Gössl.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

gut gewaschenem Quarzsand zog, dem 0, 1, 5, 10% Al_2O_3 zugesetzt wurden. Bei 1% Zugabe zeigten die Pflanzen noch wenig Unterschiede gegenüber den Kontrollexemplaren, während die höheren Konzentrationen eine ausgesprochen wachstumshemmende Wirkung äußerten (vgl. Fig. 1 und 2).

Das gleiche Resultat erhielt ich, wenn ich Al_2O_3 den flüssigen Nährlösungen zusetzte.

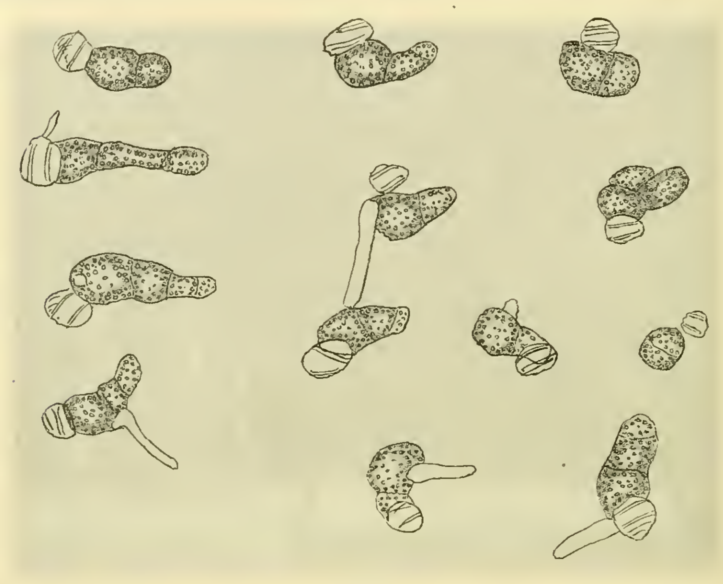


Fig. 2.

Prothallien von *Equisetum arvense* ohne Al $(NO_0)_0$ (am 4. Juli 1912). Vergrößerung zirka 100 mal.

Es geht aus diesen Versuchen hervor, daß eine sehr geringe Menge von Al_2O_3 die Pflanzen wohl kaum, größere Mengen dagegen erheblich schädigen.

Angesichts des offenbar schädlichen Einflusses von Al-Salzlösungen auf das Wachstum der Pflanzen ist es einigermaßen auffällig, daß unter natürlichen Verhältnissen so viele Gewächse Al, und manchmal in so großen Mengen, aufnehmen. Man muß sich wohl vorstellen, daß die Pflanzen das Al aus unendlich verdünnten Lösungen, die im Boden enthalten sind, langsam aufnehmen, vielleicht um andere

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

wichtige Nährelemente, die an das Al gebunden sind, damit zu gewinnen. Ob dem Al in der Pflanze irgendwelche bestimmte Funktionen zukommen, wird erst entschieden werden können, wenn es gelungen ist, typische Al-Pflanzen Al-frei zu ziehen.

V. Der Einfluß des Al auf das Wachstum von Pilzen.

Um den Einfluß von Al-Salzen auf das Wachstum und die Fruktifikation von Pilzen zu ermitteln, wurde eine größere Zahl von entsprechenden Kulturversuchen mit *Aspergillus niger* angestellt. Die Nährlösung (Stammlösung) hatte folgende Zusammensetzung:

1000 *g* dest. Wasser 0·4 *g* KNO_3 0·4 *g* $MgSO_4$ 0·4 *g* KH_2PO_4 Spur Eisen	Stammlösung
10 *g* Glyzerin	
(10 *g* Pepton Witte).	

Je 10 Erlenmeyerkolben mit je 50 cm^3 Nährlösung bildeten einen Versuch. 5 Kolben dienten zur Kontrolle und enthielten die angegebene Stammlösung, die anderen 5 bekamen außerdem den Al-Zusatz. Nach je 14 Tagen wurden die Versuche abgebrochen und das Trockengewicht der Pilzernte in üblicher Weise bestimmt.

Die Kulturgefäße standen in einer vollständig verdunkelten Kammer, in der stets eine gleichmäßige Temperatur von etwa 20° C. herrschte.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

I. Versuchsreihe.

Stammlösung + Glyzerin. — $Al_2(SO_4)_3$.

Nr.	Al-Zusatz	Trockengewicht der Ernte	Differenz in Gramm	Kontrolle Al =	Bemerkungen
1	0·005% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 0·3892 *g* Al-Kulturen 0·4994 *g*	+ 0·1102	1 : 1·27	Fruktifikation in Al-Kulturen anfangs stärker, später beiderseits ungefähr gleich.
2	0·01% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 0·1285 *g* Al-Kulturen 0·4133 *g*	+ 0·2848	1 : 3·2	Fruktifikation in Al-Kulturen etwas stärker.
3	0·05% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 0·1388 *g* Al-Kulturen 0·2784 *g*	+ 0·1396	1 : 2·004	Fruktifikation in Al-Kulturen anfangs etwas hinter Kontrollkulturen zurück, am Ende des Versuchs aber stärker. (Nr. 3 und 4)
4	0·1% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 0·1911 *g* Al-Kulturen 0·3606 *g*	+ 0·1695	1 : 1·88	
5	0·5% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 0·4980 *g* Al-Kulturen 0 *g*	+ 0·4980	1 : 0	Al-Kulturen überhaupt nicht ausgekeimt!

Aus dieser Tabelle ist ohneweiters zu entnehmen, daß $Al_2(SO_4)_3$ in Konzentrationen von 0·005 bis 0·1% das Wachstum und die Fruktifikation von *Aspergillus niger* beträchtlich fördert. Am auffallendsten ist dies bei 0·01%, wo das Trockengewicht der mit Al-Zusatz gezogenen Pilze mehr als das Dreifache der Kontrollkulturen beträgt, 0·05 und 0·1% fördern bereits nicht mehr so sehr und 0·5% schädigen so stark, daß überhaupt kein Wachstum mehr erfolgt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

II. Versuchsreihe.

Stammlösung + Glyzerin + Pepton. — $Al_2(SO_4)_3$.

Nr.	Al-Zusatz	Trockengewicht der Ernte	Differenz in Gramm	Kontrolle Al =	Bemerkungen
1	0·005% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 1·3650 *g* Al-Kulturen 1·1430 *g*	+ 0·2210	1·18 : 1	Kontrollkulturen fruktifizieren reichlich, Al-Kulturen zeigen nur hie und da spärliche Sporangien.
2	0·01% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 1·4724 *g* Al-Kulturen 7·0316 *g*	+ 0·5592	1 : 1·37	Fruktifikation in Al-Kulturen etwas stärker.
3	0·05% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 1·3924 *g* Al-Kulturen 1·1944 *g*	+ 6·1980	1·17 : 1	Fruktifikation in Kontrollkulturen reichlich, in Al-Kulturen hie und da spärliche Sporangien.
4	0·1% $Al_2(SO_4)_3$	Kontrollkulturen 1·4320 *g* Al-Kulturen 0·8720 *g*	+ 0·6200	1·63 : 1	Kontrollkulturen fruktifizieren reichlich, die Al-Kulturen gar nicht.

Was man bei ernährungsphysiologischen Versuchen mit Pilzen so oft beobachtet,[1] zeigte sich auch hier wieder: daß die Wirkung irgend eines Stoffes, hier des $Al_2(SO_4)_3$, ganz verschieden ist, je nach dem den Pilzen dargebotenen organischen Nährstoff. Hatte $Al_2(SO_4)_3$ bei Glyzerin allein das Wachstum des Pilzes wesentlich gefördert, so trat das Gegenteil ein, als Glyzerin und Pepton geboten wurde. Während bei allen Konzentrationen von $Al_2(SO_4)_3$ die Pilzernte der Kontrollkulturen bedeutend höher ausfiel, war dies nur bei 0·01% umgekehrt. In allen übrigen Fällen wurde durch Al-Zusatz die Fruktifikation fast vollständig unterdrückt, bei 0·01%

[1] Vgl. darüber auch Gössl, l. c.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

war eher eine Förderung zu verzeichnen. Leider war es mir aus Zeitmangel nicht mehr möglich, diese auffallende Ausnahme nochmalz zu überprüfen, die wohl durch irgend eine unkontrollierbare Unregelmäßigkeit in den Kulturbedingungen verursacht wurde.

Auch mit $AlCl_3$ wurden Versuche angestellt, die ganz das gleiche Ergebnis hatten wie die vorigen.

III. Versuchsreihe.

Stammlösung + Glyzerin. — 0·01% $AlCl_3$.

Kontrolkulturen	0·6635 *g*
Al-Kulturen	0·6700 *g*
Differenz	+ 0·0065 *g*
Al: Kontrolle =	1·009 : 1

Fruktifikation beiderseits ungefähr gleich.

IV. Versuchsreihe.

Stammlösung + Glyzerin + Pepton. — 0·01% $AlCl_3$.

Kontrollkulturen	1·4250 *g*
Al-Kulturen	0·8435 *g*
Differenz	+ 0·5815 *g*
Al: Kontrolle	1 : 1·68

Fruktifikation in den Al-Kulturen nahezu vollständig unterdrückt.

Auch hier förderte also wieder das Al bei Glyzerin allein das Wachstum, bei Glyzerin und Pepton als Nährstoffe hemmte es das Wachstum und die Fruktifikation bedeutend.

Natürlich darf aus den Versuchen, die in Tabelle I wiedergegeben sind, nicht geschlossen werden, daß Al ein Nährstoff für die Pilze sei. Es handelt sich sicher nur um eine Reizwirkung, die sich hier allerdings sehr auffallend äußert.

VI. Al — ein notwendiges Nährelement?

Aus den Ausführungen des Kapitels IV erhellt, daß das Al lediglich als zufälliger Nährlösungsbestandteil aufgenommen und hie und da in ziemlich großer Menge vertragen wird,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ehe es seine Giftwirkung äußert. Es gibt nun eine Pflanze, bei der ich in meinen Versuchen eine Wachstumsförderung durch Al beobachten konnte. Und das ist *Equisetum arvense.*

Aus meinen Untersuchungen über den Al-Gehalt von *Equisetum* geht hervor, daß *Equisetum arvense* in den Sporophyllständen beträchtlich Al speichert, somit als Al-Pflanze zu bezeichnen ist. Deshalb wurde der folgende Versuch unternommen.

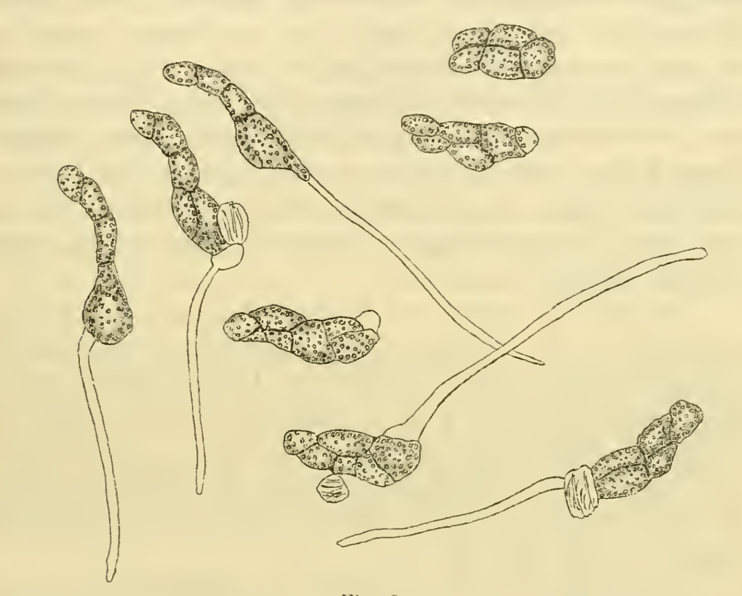


Fig. 3.
Prothallien von *Equisetum arvense* mit Al $(NO_3)_3$ (am 4. Juli 1912). Vergrößerung zirka 100 mal.

Am 27. Juni 1912 wurden 6 Petrischalen mit Mineralsalzagar nach Osw. Richter gefüllt, und zwar 3 mit normalem Agar (I), 3 mit Zusatz von 0·01% Al $(NO_3)_3$ (II) und nach dem Erstarren Sporen von *Equisetum arvense* darauf ausgesäet. Sie keimten nach einigen Tagen aus und bald war zwischen I und II ein Unterschied zu bemerken. Die Prothallien von I standen an Größe und vor allem bezüglich der Länge der Rhizoiden bedeutend hinter denen von II zurück. Die Fig. 2 und 3 zeigen die Prothallien am 4. Juli. Es wurden

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

dabei für I absichtlich die kräftigsten Prothallien zum Zeichnen gewählt. In Wirklichkeit war der Unterschied noch größer. Es scheint nun dieser Versuch darauf hinzudeuten, daß Al auf das Wachstum von *Equisetum arvense* einen günstigen Einfluß ausübt. Leider kann dieser Versuch nicht für ganz exakt gelten; denn auch im Agar I waren sicher Spuren von Al vorhanden, die aus dem Glase während des Sterilisierens in Lösung gegangen waren, ferner aus der zum Neutralisieren des Agars verwendeten Natronlauge stammten. Der zweite Einwand, der gegen den Versuch erhoben werden kann, ist der, daß das Agar II, welches den Al-Zusatz erhielt, dadurch reicher an Nitrat wurde. Allerdings ist dieser Einwurf nicht sehr schwerwiegend, da ja auch I hinlänglich Nitrate enthielt. Ferner hemmt, wie wir gesehen haben, schon ein geringer $Al(NO_3)_3$-Zusatz das Wachstum höherer Pflanzen, weil sie eben das Al nicht vertragen. *Equisetum* aber wurde gerade dadurch gefördert.

Am 20. Juli waren die Prothallien aus I nahezu alle abgestorben. Die meisten nicht größer als 2 bis 4 Zellen, zahlreiche Sporen nicht ausgekeimt. Die Prothallien aus II waren durchschnittlich 6 bis 8 Zellen groß und lebten mit Ausnahme einiger weniger noch alle.

Am 24. Juli wurden die Kulturen abermals kontrolliert; die Prothallien aus I waren alle tot, die aus II größtenteils lebend, wie am 20. Juli.

Ich behalte es mir vor, diese interessante Frage in vollkommen exakter Weise bei nächster Gelegenheit zu entscheiden!

Die vorliegende Arbeit wurde im Institute des Herrn Prof. H. Molisch begonnen und im Pharmakognostischen Institute des Herrn Hofrates Prof. J. Moeller zu Ende geführt. Gerne benütze ich diese Gelegenheit, um Herrn Prof. Molisch meinen herzlichsten Dank für sein liebevolles Interesse, das er meinen Untersuchungen allzeit entgegenbrachte, auszudrücken, ebenso Herrn Prof. Osw. Richter. Desgleichen sage ich Herrn Hofrat Moeller für die Erlaubnis, die Arbeit in seinem Institute zu beenden, den aufrichtigsten Dank!

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zusammenfassung.

1. Eine Umänderung von rotem in blaues Anthokyan konnte im Anschluß an die Befunde von Molisch, Miyoshi und Katić bei Rotkrautkeimlingen durch Kultur auf Knopscher Nährlösung mit einem Zusatz von 0·01 % $Al(NO_3)_3$ erzielt werden.

2. Die von Fluri bei *Spirogyra*, *Elodea* und *Lemna* beobachtete Entstärkung durch Anwendung von Al-Salzlösungen konnte nur bei *Elodea* festgestellt werden. Eine Entstärkung von Wurzeln tritt in Al-Salzlösungen nicht ein, das Verhalten solcher Wurzeln kann daher nicht gegen die Statolithentheorie ins Feld geführt werden.

3. Die Entstärkung durch Al-Salze wird in teilweisem Gegensatz zu Fluri auf eine Hemmung der kondensierenden und eine Förderung der hydrolysierenden Fermente sowie auf eine Schwächung der Assimilation (allgemeine Giftwirkung) zurückgeführt.

4. Ein Beweis für letztere Ansicht konnte durch eine Variation des Boehm'schen Versuches über die Stärkebildung aus Zucker im Dunkeln erbracht werden. Während stärkefreie Laubblätter, auf 20 % Rohrzuckerlösung gelegt, in einigen Tagen reichlich Stärke bilden, unterbleibt dies völlig, wenn der Zuckerlösung 1 % $Al(NO_3)_3$ zugesetzt wird.

5. Die Ansicht Fluri's über die Ursachen der durch Al-Salze herbeigeführten Aufhebung der Plasmolysierbarkeit kann nicht richtig sein. Viel annehmbarer erscheint die Theorie von Szücz.

6. Al-Salze hemmen, in Konzentrationen von 0·005 % angefangen, das Wachstum der von mir untersuchten höheren Pflanzen. Sehr kleine Mengen (0·0001 %) fördern es dagegen ein wenig. Auch Zusatz von Al_2O_3 wirkt schädlich.

7. *Aspergillus niger* wird (Glyzerin als organischer Nährstoff) durch Zusatz von 0·005 bis 0·1 % $Al_2(SO_4)_3$ im Wachstum und in der Fruktifikation bedeutend gefördert. Das Optimum liegt bei 0·01 % $Al_2(SO_4)_3$. Dagegen hemmt es das Wachstum und unterdrückt die Fruktifikation fast vollständig, wenn

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Glyzerin und Pepton dargeboten werden. Ganz ähnlich äußert sich die Wirkung von $AlCl_3$.

8. Prothallien von *Equisetum arvense* wurden auf Mineralsalzagar kultiviert, wobei sich ein Zusatz von 0·01 % $Al(NO_3)_3$ als stark wachstumsfördernd erwies. Wenngleich der Versuch nicht völlig einwandfrei ist, so macht er es doch wahrscheinlich, daß die Prothallien von *Equisetum arvense* durch Al-Salze im Wachstum gefördert werden.

Literaturnachweis.

Block A., Über Stärkegehalt und Geotropismus der Wurzeln von *Lepidium sativum* und anderen Pflanzen bei Kultur in Kalialaunlösungen. Dissert. Berlin 1912.

Boehm J., Über Stärkebildung aus Zucker. Botan. Zeitung 1883, Bd. 41, p. 33 und 49.

Fluri M., Der Einfluß von Aluminiumsalzen auf das Plasma. Flora 1908, Bd. 99.

Gössl J., Über das Vorkommen des Mangans in der Pflanze etc. Beih. z. Botanischen Zentralblatt, 1905, Bd. 18, I. Abt., p. 119.

Katić D. L., Beitrag zur Kenntnis der Bildung des roten Farbstoffes (Anthocyan) in vegetativen Organen der Phanerogamen. Diss. Halle-Wittenberg 1905.

Kratzmann E., Über den mikrochemischen Nachweis und die Verbreitung des Al im Pflanzenreich. Sitz. Ber. der K. Akademie d. Wiss. in Wien, Bd. CXXII, Abt. I, Februar 1913.

Molisch H., I. Der Einfluß des Bodens auf die Blütenfarbe der Hortensien. Botan. Zeitung 1897, Bd. 55, p. 49. — II. Mikrochemie der Pflanze, Jena, G. Fischer, 1913, p. 236 ff.

Miyoshi M., Über die künstliche Änderung der Blütenfarben. Botan. Zentralblatt, 1900.

Němec B., Der Geotropismus entstärkter Wurzeln. Ber. der Deutsch. Botan. Gesellsch., 1910, Bd. 28, p. 107.

Pfeiffer Th. und Blanck E., Beitrag zur Frage über die Wirkung des Mangans, beziehungsweise Aluminiums auf

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

das Pflanzenwachstum. Landwirtschaftliche Versuchsstationen, 1912, Bd. 77, p. 33 und 1914, Bd. 83, p. 257.

Richter Osw., Die Ernährung der Algen. Berlin, Borntraeger, 1911.

Rothert W., Das Verhalten der Pflanzen gegenüber dem Aluminium. Botan. Zeitung, 1906, Bd. 64, p. 43.

Rutten-Pekelharing, Untersuchungen über die Perzeption des Schwerkraftreizes. Trav. botan. Neerlandais VII., 1910.

Stoklasa Jul., De l'importance physiologique du manganese et de l'aluminium dans la cellule végétale. Compt. rend. 1911, I. Bd., p. 1340.

Yamano, Can Al salts enhance plant growth? Bull. Coll. Agric. Tokyo VI. 1905, Nr. 4.

Szücz J., Über einige charakteristische Wirkungen des Aluminiumions auf das Protoplasma. Pringsheim's Jahrbücher, 1913, Bd. 52, p. 269.

Vouk V., Einige Versuche über den Einfluß von Al-Salzen auf die Blütenfärbung. Österr. Botan. Zeitschrift, 1908, Nr. 6, p. 236.